



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 197 12 923 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 41/09  
F 02 M 51/02

⑳ Aktenzeichen: 197 12 923.4  
㉔ Anmeldetag: 27. 3. 97  
㉕ Offenlegungstag: 1. 10. 98

DE 197 12 923 A 1

㉑ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

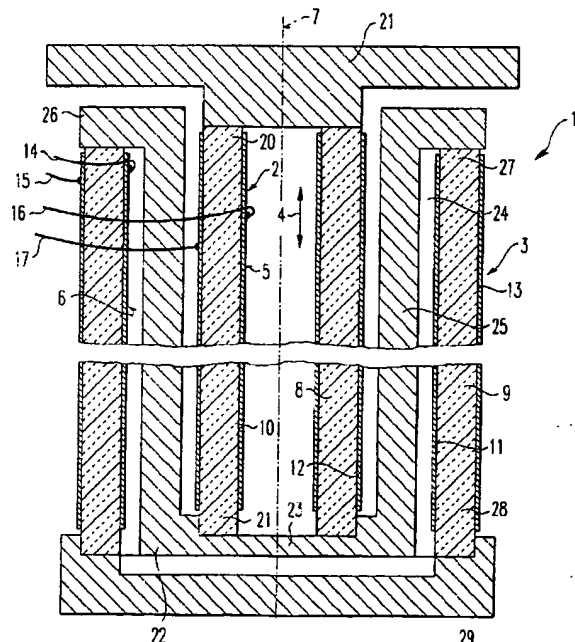
㉒ Erfinder:  
Boecking, Friedrich, 70499 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Piezoelektrischer Aktor

⑤7 Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor, insbesondere zur Betätigung eines Brennstoffeinspritzventils.

Der erfindungsgemäße piezoelektrische Aktor (1) weist zumindest ein monolithisches Piezoelement (2; 3) aus einem piezoelektrischen Material auf, das rohrförmig ausgebildet ist und eine sich entlang einer Längsrichtung (4) erstreckende Durchdringung (5; 6) aufweist, die von einer Rohrwandung (8; 9) umgeben ist. An der Innenseite der Rohrwandung (8; 9) jedes Piezoelements (2; 3) ist eine Innenelektrode (10; 11) vorgesehen. Entsprechend ist an der Außenseite der Rohrwandung (8; 9) jedes Piezoelements (2; 3) eine Außenelektrode (12; 13) vorgesehen. Bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Innenelektrode (10; 11) und der Außenelektrode (12; 13) bildet sich ein zur Längsrichtung (4) des rohrförmigen Piezoelements (2; 3) im wesentlichen senkrechtes elektrisches Feld ( $E_3$ ) aus, das eine Deformation ( $d_{31}$ ) des Piezoelements (2; 3) in seiner Längsrichtung (4) bewirkt, um in der Längsrichtung (4) des Piezoelements (2; 3) eine Betätigungskraft auszuüben.



DE 197 12 923 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor, der insbesondere zur Betätigung eines Brennstoffeinspritzventils verwendbar ist.

Bei einem aus der DE 35 33 085 A1 bekannten Brennstoffeinspritzventil ist ein piezoelektrischer Aktor zur Betätigung eines eine Abspritzöffnung verschließenden Ventilschließkörpers vorgesehen, der über einen Übertragungsbolzen mit einer mit dem Ventilschließkörper verbundenen Ventalnadel in kraftschlüssiger Wirkverbindung steht. Der piezoelektrische Aktor besteht aus mehreren stapelartig hintereinander angeordneten Piezoelementen. Die Piezoelemente sind scheibenartig ausgebildet und weisen auf beiden Scheibenoberflächen Elektroden auf, die mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar sind. Bei Beaufschlagen mit der Spannung dehnt sich jedes der stapelartig hintereinander angeordneten, scheibenartigen Piezoelemente in Richtung des zwischen den Elektroden entstehenden elektrischen Feldes aus.

Da die für den Ventilhub genutzte Dehnung der Piezoelemente in Richtung des elektrischen Feldes verläuft, sind die Elektroden zwangsläufig auf sich senkrecht zur Dehnungsrichtung erstreckenden Flächen angeordnet. Um eine ausreichend hohe elektrische Feldstärke in jedem Piezoelement zu erzielen, dürfen die Piezoelemente keine all zu große Schichtdicke aufweisen. Zur Erzielung eines ausreichenden Ventilhubes sind daher eine große Vielzahl dünner Piezoelemente stapelartig hintereinander anzuordnen und mit einer geeigneten mechanischen Vorspannung in Dehnungsrichtung aneinander zu pressen. Da die Elektroden parallel zu der Anlagefläche verlaufen, an welcher die einzelnen Piezoelemente aneinanderliegen, ist eine monolithische Herstellung des piezoelektrischen Aktors nicht möglich.

Aus der DE 43 06 073 C1 und der DE 195 00 706 A1 gehen Brennstoffeinspritzventile mit einem hydraulischen Wegtransformator hervor, bei welchem bereits eine relativ geringe Verschiebung eines mit dem piezoelektrischen Aktor in Verbindung stehenden Arbeitskolbens in eine erheblich größere Verschiebung eines mit dem Ventilschließkörper in Verbindung stehenden Hubkolbens transformiert wird. Die piezoelektrischen Aktoren bestehen auch hier aus einer Vielzahl gestapelter Piezoelemente.

Die bekannten piezoelektrischen Aktoren haben den Nachteil, daß sie nur in einem aufwendigen Fertigungsverfahren herstellbar sind. Ferner besteht der Nachteil, daß die bekannten piezoelektrischen Aktoren nicht mit einer Zugspannung beaufschlagt werden dürfen, da dann die Gefahr besteht, daß sich die auf die piezoelektrischen Kristalle aufgedampften oder aufgesputterten Elektroden ablösen. Um dies zu vermeiden, sind die bekannten Piezoaktoren mit einer mechanischen Druckspannung vorzuspannen, wozu zusätzliche Bauelemente benötigt werden.

## Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Aktor mit dem Merkmal des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß das Piezoelement bzw. die Piezoelemente des Aktors in besonders einfacher und kostengünstiger Weise herstellbar sind. Als Herstellungsverfahren bietet sich z. B. ein Strangpreßverfahren an, mit welchem sich die Piezoelemente in relativ großer baulicher Länge als Monolith herstellen lassen.

Die Außenelektrode und die Innenelektrode des Piezoelements können innenseitig und außenseitig der Rohrwandung des rohrförmig ausgebildeten Piezoelements großflächig, z. B. durch Sputtern, Aufdampfen, ein CVD-Verfahren oder ein anderes bekanntes Beschichtungsverfahren problemlos

aufgebracht werden. Da die Elektroden parallel zur Betätigungsrichtung des Aktors angeordnet sind und keine quer zur Betätigungsrichtung angeordneten Elektroden notwendig sind, kann der Aktor aus einem nicht durch Elektroden unterbrochenen, monolithischen piezoelektrischen Kristall gefertigt werden.

Der erfindungsgemäße Aktor kann im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Aktoren auch mit einer Zugspannung beaufschlagt werden, da bei der erfindungsgemäßen Anordnung der Elektroden keine Gefahr besteht, daß diese von dem piezoelektrischen Kristall bei einer Zugbeanspruchung abgelöst werden. Die beim Stand der Technik notwendigen speziellen Bauelemente, um den Aktor mechanisch vorzuspannen, können bei dem erfindungsgemäßen Aktor daher entfallen, wodurch die Fertigungskosten und die Montagekosten weiter reduziert werden.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen piezoelektrischen Aktors möglich.

Bei Verwendung von mehreren, z. B. zwei, mechanisch in Reihe geschalteten erfindungsgemäß ausgebildeten Piezoelementen kann der Hub des piezoelektrischen Aktors bei gegebener baulicher Länge vergrößert werden, bzw. kann die Länge des piezoelektrischen Aktors bei gegebenem Hub verkürzt werden. Die erfindungsgemäß ausgebildeten Piezoelemente nutzen den sogenannten, weiter unten näher beschriebenen  $d_{31}$ -Effekt aus, während aus dem Stand der Technik bekannte Piezoelemente den sogenannten, ebenfalls weiter unten näher beschriebenen  $d_{33}$ -Effekt ausnutzen. Der durch Ausnutzung des  $d_{31}$ -Effekts erzielbare Hub beträgt bei gleicher mechanischer Länge des piezoelektrischen Aktors zwar nur ungefähr die Hälfte des durch Ausnutzung des  $d_{33}$ -Effekts erzielbaren Hubs. Durch die Verwendung von zwei ineinander geschachtelten, erfindungsgemäß ausgebildeten Piezoelementen, die mechanisch in Reihe geschaltet sind, ergibt sich insgesamt jedoch ein mit dem  $d_{33}$ -Effekt vergleichbarer Gesamthub. Auch bei Verwendung von zwei oder mehreren ineinander verschachtelten Piezoelementen sind die Gesamtkosten für die Herstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors niedriger als die für einen piezoelektrischen Aktor nach dem Stand der Technik aufzuwendenden Herstellungskosten, da die einzelnen Piezoelemente z. B. mittels eines Strangpreßverfahrens vergleichsweise äußerst kostengünstig herstellbar sind.

Eine besonders platzsparende Anordnung von zwei oder mehreren mechanisch hintereinandergeschalteten, erfindungsgemäßen Piezoelementen ergibt sich, wenn jeweils ein äußeres Piezoelement ein inneres Piezoelement ringförmig umschließt und jeweils ein Verbindungselement vorgesehen ist, das ein Ende des inneren Piezoelements mit dem entgegengesetzten Ende des äußeren Piezoelements verbindet. Das Verbindungselement kann besonders vorteilhaft in einem Ringraum zwischen dem inneren Piezoelement und dem äußeren Piezoelement integriert sein. Auf diese Weise ergibt sich eine besonders kompakte Bauweise des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors.

Die Elektroden der einzelnen Piezoelemente können elektrisch parallel geschaltet sein oder aber unabhängig voneinander mit einer Spannungsquelle verbindbar sein. Im letzteren Fall ergibt sich die Möglichkeit einer gestuften Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors, so daß sich ein abgestufter Hub des Aktors einstellt, je nachdem wieviele Piezoelemente mit der elektrischen Spannung beaufschlagt sind.

## Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeich-

nung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** einen axialen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktor und

**Fig. 2** eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Wirkungsweise der Erfindung.

#### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

**Fig. 1** zeigt einen axialen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktor 1. Der piezoelektrische Aktor 1 kann z. B. zur Betätigung eines Ventilschließkörpers eines nicht weiter dargestellten Brennstoffeinspritzventils, insbesondere für die Benzin-Direkt-Einspritzung, verwendet werden. Jedoch sind auch eine Vielzahl von anderen Anwendungsmöglichkeiten denkbar, z. B. die Betätigung von Hydraulikventilen, der Antrieb von Mikropumpen oder die Betätigung von elektrischen Relais.

Im nur schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel weist der piezoelektrische Aktor 1 zwei ineinander verschachtelte Piezoelemente 2, 3, nämlich ein inneres Piezoelement 2 und ein äußeres Piezoelement 3 auf. Sowohl das innere Piezoelement 2 als auch das äußere Piezoelement 3 sind aus einem piezoelektrischen Material als Monolith, d. h. als ein Einkristall, hergestellt. Als Materialien eignen sich z. B. Quarz, Turmalin, Bariumtitanat ( $\text{BaTiO}_3$ ) oder spezielle Piezokeramiken, z. B. aus Ba- und Ti-Salzen. Geeignet sind auch organische Salze, wie NaK-Tartrat oder eine Vielzahl anderer bekannter piezoelektrischer Materialien.

Erfindungsgemäß sind die Piezoelemente 2, 3 rohrförmig, bzw. hülsenförmig ausgebildet und weisen jeweils sich entlang einer durch den Pfeil 4 veranschaulichten Längsrichtung erstreckende Durchdringungen 5, 6, z. B. in Form von Bohrungen auf. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Piezoelemente 2, 3 radialsymmetrisch als Hohlzylinder mit unterschiedlichem Durchmesser ausgebildet, die konzentrisch zu einer Längsachse 7 angeordnet sind. Die Durchdringungen 5 bzw. 6 sind jeweils von einer Rohrwandung 8 bzw. 9 umgeben. An der Innenseite der Rohrwandung 8 bzw. 9 ist jeweils eine Innenelektrode 10 bzw. 11 vorgesehen, während an der Außenseite der Rohrwandung 8 bzw. 9 jeweils eine Außenelektrode 12 bzw. 13 vorgesehen ist. Die Innenelektroden 10 und 11 und die Außenelektroden 12 und 13 bestehen aus einem geeigneten Metall, daß mit einem geeigneten Beschichtungsverfahren, z. B. durch Sputtern, Aufdampfen oder ein CVD-Verfahren, auf dem Innenumfang bzw. Außenumfang der Rohrwandungen 8 und 9 aufgebracht ist. Die Innenelektroden 10 und 11 als auch die Außenelektroden 12 und 13 sind mit elektrischen Leitungen 14 bis 17 verbunden, die lediglich schematisch gezeichnet sind.

Wenn an die elektrischen Leitungen 14 und 15 einerseits und die elektrischen Leitungen 16 und 17 andererseits eine elektrische Spannung angelegt wird, entsteht innerhalb der Rohrwandungen 8 bzw. 9 ein radial zu der Längsachse 7 ausgerichtetes elektrisches Feld. Das elektrische Feld bewirkt je nach Feldstärke eine Kontraktion oder Dehnung des entsprechenden Piezoelementes 2 bzw. 3 in der Längsrichtung 4, also senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes. Die Deformation in der Richtung senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes ist in etwa halb so groß wie die bei konventionellen Aktoren ausgenutzte Deformation in Richtung des elektrischen Feldes. Dies führt bei gleicher haultlicher Länge des piezoelektrischen Aktors 1 zu einem entsprechend reduzierten Betätigungshub. Dies kann dadurch kompensiert werden, daß, wie in **Fig. 1** dargestellt, zwei ineinander verschachtelte, mechanisch in Reihe ge-

schaltete Piezoelemente 2 und 3 zum Einsatz kommen. Dabei umschließt das äußere Piezoelement 3 ringförmig das innere Piezoelement 2.

Ein erstes Ende 20 des inneren Piezoelements 2 stützt sich an einem Abstützkörper, z. B. an dem Gehäuse 21 eines Brennstoffeinspritzventils, ab. Ein zweites Ende 21 des inneren Piezoelements 2 ist mit einem Verbindungselement 22 verbunden, welches das innere Piezoelement 2 und das äußere Piezoelement 3 miteinander mechanisch koppelt. Das Verbindungselement 22 kann z. B. topfförmig ausgebildet sein mit einem Topfboden 23, gegen welchen sich das zweite Ende 21 des inneren Piezoelements 2 abstützt, einem in einem zwischen dem inneren Piezoelement 2 und dem äußeren Piezoelement 3 ausgebildeten Ringraum 24 verlaufenden Zylinderabschnitt 25 und einem an dem dem Topfboden 23 abgelegenen Ende an den Zylinderabschnitt 25 angeformten, umlaufenden Kragen 26, an welchem sich ein erstes Ende 27 des äußeren Piezoelements 3 abstützt. Dabei ist das erste Ende 27 des äußeren Piezoelements 3 gegenüberliegend dem ersten Ende des inneren Piezoelements 2 und entgegengesetzt zu dem zweiten Ende 21 des inneren Piezoelements 2 angeordnet. Ein zweites Ende 28 des äußeren Piezoelements 3 ist mit einem Hubkolben 29 verbunden, welcher die Betätigungskraft des erfindungsgemäßen Aktors 1 auf entsprechende Betätigungselemente, z. B. eine Ventilmadel oder einen hydraulischen Hubtransformator eines Brennstoffeinspritzventils, überträgt.

Durch die in **Fig. 1** dargestellte Verschachtelung zweier Piezoelemente 2 und 3 ergibt sich eine äußerst kompakte Bauweise bei einem mit einem konventionellen Aktor vergleichbaren Betätigungshub. Selbstverständlich ist es auch möglich, weitere Piezoelemente in gleicher Weise verschachtelt anzuordnen, wobei ein nicht dargestelltes drittes Piezoelement das Piezoelement 3 ringförmig umschließt mit einem entsprechenden weiteren Verbindungselement mit dem Piezoelement 3 verbunden ist. In entsprechender Weise können auch ein viertes Piezoelement und weitere Piezoelemente angeordnet sein, die jeweils mit dem nächstinneren Piezoelement über ein Verbindungselement so verbunden sind, daß in Längsrichtung entgegengesetzte Enden des jeweils inneren Piezoelements und des jeweils umgebenden, äußeren Piezoelements miteinander in kraftschlüssiger Wirkverbindung stehen.

Die elektrischen Leitungen 14 bis 17 können so geschaltet sein, daß die inneren Elektroden 10 und 11 einerseits und die äußeren Elektroden 12 und 13 andererseits mit jeweils einem Pol einer gemeinsamen Spannungsquelle verbindbar sind. Es ist jedoch auch denkbar, die Elektroden 10, 12 des inneren Piezoelements 2 und die Elektroden 11, 13 des äußeren Piezoelements 3 unabhängig voneinander mit der Spannungsquelle zu verbinden, so daß die Piezoelemente 2, 3 unabhängig voneinander mit einer Versorgungsspannung beaufschlagt werden können. Auf diese Weise kann ein abgestufter Betätigungshub des erfindungsgemäßen Aktors 1 erzielt werden, wobei eine erste Betätigungshub-Stufe erreicht wird, wenn nur eines der beiden Piezoelemente 2 oder 3 mit der Versorgungsspannung beaufschlagt wird, und eine zweite Betätigungshub-Stufe erreicht wird, wenn beide Piezoelemente 2 und 3 mit der Versorgungsspannung beaufschlagt werden. Wenn der erfindungsgemäße piezoelektrische Aktor 1 zur Betätigung eines Ventilschließkörpers eines Brennstoffeinspritzventils verwendet wird, ergibt sich dadurch ein abgestufter Ventil-Öffnungshub, was für bestimmte Anwendungen vorteilhaft ist.

Die Piezoelemente 2 und 3 lassen sich besonders vorteilhaft mittels eines Strangpreßverfahrens als Monolith herstellen. Dabei ergeben sich besonders niedrige Fertigungskosten für die Piezoelemente 2, 3.

Anhand von Fig. 2 werden zum besseren Verständnis der Erfindung nachfolgend der bei der vorliegenden Erfindung genutzte  $d_{31}$ -Effekt im Unterschied zu dem bei bekannten Piezoaktoren üblicherweise genutzten  $d_{33}$ -Effekt erläutert.

In Fig. 2 ist ein der Einfachheit halber würfelförmig dargestellter, piezoelektrischer Kristall 40 in einem Koordinatensystem gezeichnet, dessen Koordinaten mit 1, 2 und 3 bezeichnet sind. Wenn der piezoelektrische Kristall 40 mit einem in der Koordinatenrichtung i wirkenden elektrischen Feld  $E_i$  beaufschlagt wird, wird dieser in den in Fig. 2 mit unterbrochener Linienführung für den Fall  $i=3$  dargestellten deformierten piezoelektrischen Kristall 40' deformiert. Allgemein gilt zwischen der relativen Deformation

$$\varepsilon_i = \Delta X_i / X_i \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

in der Koordinatenrichtung i und einem elektrischen Feld  $E_j$  in der Koordinatenrichtung j der dreidimensionale Zusammenhang

$$E_j = d_{ji} \varepsilon_i \quad i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3 \quad (2).$$

Dabei bezeichnet  $d_{ji}$  den piezoelektrischen Koeffizienten, der auch als piezoelektrische Ladungskonstante bezeichnet wird.

Wenn, wie in Fig. 2, das elektrische Feld  $E_3$  in der Koordinatenrichtung 3 wirkt, ist der piezoelektrische Koeffizient  $d_{33}$  ein Maß für die feldabhängige Deformation in Richtung des elektrischen Feldes  $E_3$ , während die piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{31}$  und  $d_{32}$  ein Maß für die feldabhängige Deformation senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes  $E_3$  sind, also in Richtung der Koordinaten 1 bzw. der Koordinaten 2. Wenn der piezoelektrische Kristall 40 in der Koordinatenrichtung 3, wie in Fig. 2 dargestellt, eine Dehnung erfährt, so erfährt er senkrecht zu der Richtung des elektrischen Feldes  $E_3$  eine entsprechende Kontraktion. Die Deformation in Richtung des elektrischen Feldes  $E_3$  wird daher in dieser Anmeldung als  $d_{33}$ -Effekt bezeichnet, während die Deformation in der Koordinatenrichtung 1 senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes  $E_3$  als  $d_{31}$ -Effekt bezeichnet wird. Während konventionelle Aktoren in der Regel den  $d_{33}$ -Effekt ausnutzen, nutzt der erfindungsgemäße Aktor 1 den  $d_{31}$ -Effekt bzw. den  $d_{32}$ -Effekt, also eine Querdeformation zur Richtung des elektrischen Feldes  $E_3$ . Bei einem isotropen, piezoelektrischen Kristall 40 ist die Kontraktion in der Koordinatenrichtung 1 bzw. der Koordinatenrichtung 2 in etwa halb so groß wie die Dehnung in der Koordinatenrichtung 3.

#### Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Aktor (1), insbesondere zur Betätigung eines Brennstoffeinspritzventils, mit zumindest einem monolithischen Piezoelement (2; 3) aus einem piezoelektrischen Material, das rohrförmig ausgebildet ist und eine sich entlang einer Längsrichtung (4) erstreckende Durchdringung (5; 6) aufweist, die von einer Rohrwandung (8; 9) umgeben ist, und zumindest einer an der Innenseite der Rohrwandung (8; 9) jedes Piezoelements (2; 3) vorgesehenen Innenelektrode (10; 11) und zumindest einer an der Außenseite der Rohrwandung (8; 9) jedes Piezoelements (2; 3) vorgesehenen Außenelektrode (12; 13), wobei sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Innenelektrode (10; 11) und der Außenelektrode (12; 13) ein zur Längsrichtung (4) des rohrförmigen Piezoelements (2; 3) im wesentlichen senkrecht ausgerichtetes elektrisches Feld ( $E_3$ ) ausbildet,

das eine Deformation ( $d_{31}$ ) des Piezoelements (2; 3) in seiner Längsrichtung (4) bewirkt, um in der Längsrichtung (4) des Piezoelements (2; 3) eine Betätigungskraft auszuüben.

2. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß mehrere rohrförmige Piezoelemente (2, 3) vorgesehen sind, die so angeordnet sind, daß jeweils ein äußeres Piezoelement (3) ein inneres Piezoelement (2) ringförmig umschließt, und zur Verbindung von jeweils zwei Piezoelementen (2, 3) jeweils ein Verbindungselement (22) vorgesehen ist, das ein Ende (21) des zugeordneten inneren Piezoelementes (2) mit einem entgegengesetzten Ende (27) des zugeordneten äußeren Piezoelementes (3) verbindet.

3. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Piezoelemente (2, 3) radialsymmetrisch ausgebildet sind und konzentrisch um eine gemeinsame, in der Längsrichtung (4) verlaufende Längsachse (7) angeordnet sind.

4. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungselemente (22) radialsymmetrisch ausgebildet sind und konzentrisch um die mit den Piezoelementen (2, 3) gemeinsame, in der Längsrichtung (4) verlaufende Längsachse (7) angeordnet sind.

5. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Verbindungselement (22) topfförmig ausgebildet ist und einen mit dem inneren Piezoelement (2) in Verbindung stehenden Topfboden (23), einen mit dem äußeren Piezoelement (3) in Verbindung stehenden Kragenabschnitt (26) sowie einen den Topfboden (23) mit dem Kragenabschnitt (26) verbindenden Zylinderabschnitt (25) aufweist.

6. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Zylinderabschnitt (25) des Verbindungselements (22) in einem Ringraum (24) zwischen dem zugeordneten inneren Piezoelement (2) und dem zugeordneten äußeren Piezoelement (3) angeordnet ist.

7. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenelektroden (10, 11) und die Außenelektroden (12, 13) der Piezoelemente (2, 3) elektrisch parallel geschaltet sind.

8. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenelektroden (10, 11) und die Außenelektroden (12, 13) der Piezoelemente (2, 3) zur Erzielung eines gestuften Betätigungshubs des piezoelektrischen Aktors (1) unabhängig voneinander mit einer Spannungsquelle verbindbar sind.

9. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 2 bis 8 zum Betätigen eines Ventilschließkörpers eines Brennstoffeinspritzventils, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ende (28) des äußersten Piezoelements (3) mit einem Hubkolben (29) verbunden ist, der mit dem Ventilschließkörper in kraftschlüssiger Wirkverbindung steht, und ein entgegengesetztes Ende (20) des innersten Piezoelements (2) sich an einem Gehäuse (21) des Brennstoffeinspritzventils abstützt.

10. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das monolithische Piezoelement bzw. die monolithischen Piezoelemente (2, 3) mittels eines Strangpreßverfahrens herstellbar ist bzw. sind.

- Leerseite -

Fig. 1

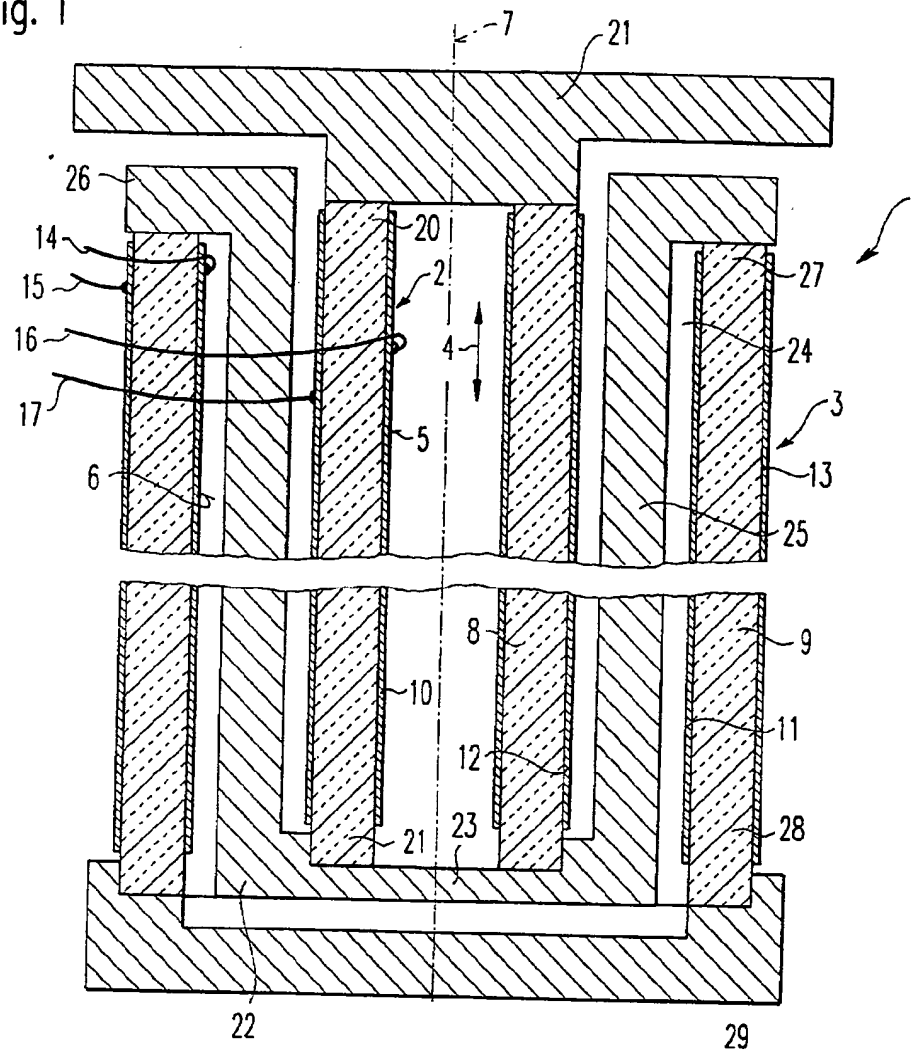


Fig. 2

